

Az országos átjárhatóságot biztosító elektro-

módszer

Az elektromos járművek hátránya a korlátozott hatótávolság, ami különösen a távolsági utazásoknál jelent akadályt. Ez a probléma kiterjedt töltőhálózat létesítésével kezelhető. A multikritériumos, pontorientált töltőtelepítési módszer számos változó alapján rangsorolja a lehetséges helyszíneket, és egy szimulációs szoftver fejlesztésével a módszert alkalmazva Magyarországra, kijelöli az elektromos személygépjárművek számára az országos átjárhatóságot biztosító villámtöltő-állomás helyszíneket.

DOI 10.24228/KTSZ.2018.1.2

Dr. Csiszár Csaba¹ – Csonka Bálint¹ –

egyetemi docens

Ph.D. hallgató

Földes Dávid¹ – Wirth Ervin² – Dr. Lovas Tamás²

Ph.D. hallgató

Ph.D. hallgató

egyetemi docens

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedésüzemi és Közlekedésgazdasági Tanszék

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Építőmérnöki Kar, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

e-mail: csiszar.csaba@mail.bme.hu, csonka.balint@mail.bme.hu,
foldes.david@mail.bme.hu, tlovas@mail.bme.hu, wirth.ervin@epito.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Az elektromos járművek széles körű elterjedése kulcskérdés a fenntartható mobilitás megvalósításához. A környezeti és forgalmi folyamatokra gyakorolt hatásaiknál újfajta modellezési megközelítések alkalmazandók [1]. Az elterjedést azonban számos akadály gátolja, úgy mint, a vásárlók bizalmatlansága, a járművek magas beszerzési költsége, a korlátozott hatótávolság, a köztöltő pontok hiánya, a többszörösen hosszabb töltési időszükséglet. A jó lefedettséggel bíró töltőinfrastruktúra-hálózat ösztönzi a plug-in hibrid vagy teljesen elektromos gépjárművek vásárlását, továbbá hozzájárul a járművek és a töltési technológi-

ák fejlesztéséhez [2, 3]. Tömegpiac nélkül, a töltőállomások helyszínei nagyban befolyásolják a járművek térbeli elterjedését. Megfelelő töltőinfrastruktúra kialakítása növelheti az elektromos járművek iránti keresletet. A töltőállomások fejlesztésének finanszírozásától (köz, magán) függetlenül a legfontosabb, hogy a töltőállomások telepítése a várható töltésgigények alapján történjen.

Kétféle töltőállomás típus szükséges a felhasználók bizonytalanságának csökkentéséhez: a városi töltőállomások, illetve az országos úthálózat menti töltőállomások [4]. Ebből következően a töltésgigényeket szétválasztottuk városi, illetve városokat elhagyó, távolsági uta-

zásokra. A városi töltés nem igényel nagymértékű változást az utazási szokásokban, hiszen a töltési tevékenység és a parkolási tevékenység összekapcsolódik. Azonban távolsági utazásoknál a töltés és annak időszükséglete az utazás nagyobb mértékű megszakítását jelenti. A távolsági utazásokhoz szükséges töltőinfrastruktúra-hálózat megléte, szemben a városi-hálózattal nagyobb jelentőségű az elektromos járművek elterjedéséhez [5]. Kritikus, hogy csökkentjük a töltési időt távolsági utazásokkor [6, 7]. Emiatt villámtöltők telepítéséhez az ajánlott teljesítmény 22 kW-nál nagyobb, amelyek akár kevesebb, mint 1 óra alatt lehetővé teszik a feltöltést. A töltési idő hasznos eltöltése felértékelődik, ezért a töltés helyén elérhető szolgáltatások vizsgálata szükséges (pl.: hotel, étterem, kávézó).

A cikkben a töltőelhelyezés szempontjait vizsgálva a távolsági közlekedés indukálta töltési igény kielégítésével foglalkozunk. Célunk egy széleskörűen használható módszer kifejlesztése, ami figyelembe veszi az elektromobilitási rendszerekkel kapcsolatos legfontosabb változókat: közúti forgalom, járművek hatótávolsága, lakosság szám, telepítési költség, szolgáltatások szubjektív értékelése. Csak a tisztán elektromos személygépjárművekkel foglalkoztunk, ugyanis a plug-in hibrid járművek elektromos hatótávolsága hosszú távú utazások során nem befolyásolja a töltési igényeket.

A kutatás során a következő kérdésekre kerestük a választ:

- Mitől kedvező egy töltőhelyszín?
- Melyek a főutak menti töltési igényt befolyásoló főbb tényezők?
- Hogyan számítható ki a töltési igényekből a töltőhelyszínek és a töltőpontok száma?
- Hogyan validálható a módszer?

A 2. fejezetben áttekintjük a kapcsolódó szakirodalmi munkákat. A 3. fejezetben részletesen leírjuk a kidolgozott módszert, ismertette az értékelési szempontokat, valamint bevezetjük a lefedettség mutatót. A 4. fejezetben alkalmazzuk a módszert Magyarországra; a módszer alapján fejlesztett térinformatikai szoftver segítségével kijelöljük az országos átjárhatósá-

got biztosító villámtöltő helyszíneket. Végezetül a kutatás során levont következtetéseket és a továbbfejlesztés irányait foglaljuk össze.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Számos tanulmány foglalkozik az elektromos járművek töltésével, többségük a töltőinfrastruktúra telepítésére fókuszálva. Az infrastruktúra tervezésében vagy utazói, vagy hálózati szempontokat vesznek figyelembe, bár léteznek példák mindkét szempont vizsgálatára [8]. Az utazó szemszögéből a töltőinfrastruktúra az utazási igények kielégítésének egyik feltétele. Az ezzel kapcsolatos tanulmányokat két osztályba sorolhatjuk: pontorientált [9] és szakaszorientált [10] telepítési koncepciók. Pontorientált modelleket koncentrált igények, például városi környezetben; míg szakaszorientált modelleket (FCLM – Flow Capturing Facility Location Models – vonalmenti igényt kiszolgáló létesítmények elhelyezésének modellje) a regionális igények kielégítéséhez használtak [11], szemben a tradicionális, pontorientált modellekkel, a szakaszorientált modelleknél az igényeket forrásnyelő (OD) formában adják meg.

Lin és Hua [12] FCLM alapú modellje változóként kezeli a forgalomban a telepítési költségeket, a töltők szolgáltatási területét és az elektromos személygépjárművek arányát. Tan és Lin [13] valószínűségi FCLM modelljükben a sztochasztikus felhasználói szempontokat is figyelembe veszik. Azonban a sztochasztikus modell kizárólagos alkalmazása alacsonyabb lefedettséget biztosít egy determinisztikus modellhez képest. Kuby és Lim [14] kiegészítette a szakaszorientált modellt az alternatív üzemanyagot használó járművek számára szükséges töltőhelyszínekkel. A töltőállomások helyszíne a járművek hatótávolságától, az utazás hosszától és az úthálózat sűrűségétől függ. Később továbbfejlesztették modelljüket nem csak a csomópontokban elhelyezhető töltőhelyszínekkel [15], valamint kidolgoztak egy heurisztikus algoritmust a töltők elhelyezéséhez [16]. Davidov és Pantos [17] a rendszer komplexitását a töltők és útvonalak diszkrét halmazával egyszerűsítették.

A járműkövető rendszerek elterjedésével a járművek mozgásmintái felhasználhatók a töltőinfrastruktúra tervezésében. Yin és Zhao [18] a vizsgált területet Voronoi cellákra osztotta és valós idejű közlekedési információkat használt. A járművek pozícióit és az utazási távolságokat figyelembe véve, klaszteranalízissel is meghatározhatók a leggyakrabban látogatott helyek, amelyek így töltőtelepítésre alkalmasak [19]. A taxik útvonalainak elemzésével is támogatható a töltőállomások kijelölése [20, 21].

Az elektromos töltőhelyszínek kiválasztását a környezet, a gazdaság, valamint a társadalom markánsan befolyásolja [22]. Számos tanulmány kiegészíti a modelleket az elektromos járművek használatának mértékével. Liu és társai [23] két lépésben határozták meg a szükséges töltőinfrastruktúrát. Első lépésben kiválasztották a lehetséges töltőhelyszíneket, figyelembe véve a környezeti tényezőket (pl.: terület értéke, energiaellátás megbízhatóság). Második lépésben minden töltőhelyszínrre meghatározták a várható töltési igényt. Xi és társai [24] a helyszíneket az OD útvonalak és a becsült elektromos járműhasználat alapján jelölték ki; az elektromos járműhasználat becsléséhez demográfiai és gazdasági adatokat használtak. Sathaye és Scott [25] a forgalom nagyságát vették figyelembe, kiemelve a demográfiai jellemzőket. Shirmohammadli és Vallée [26] felhasználói elvárások (pl.: kitérés maximális hossza) és a meglévő töltőinfrastruktúra alapján jelölték ki helyszíneket. Guo és társai [27] szintén figyelembe vették a meglévő töltőhelyszíneket modellezve a várható jövőbeli piaci versenyhelyzeteket (eltérő szolgáltató, eltérő áramdíj). Yi és Bauer [28] egy optimum modellt alkotott a töltőhelyszínek energiatudatos kiválasztására fókuszálva. Céljuk a töltéshez szükséges teljes energiafogyasztás minimalizálása volt. Liu [29] elemezte az elektromos járművek hatását az elektromos hálózatra, és fejlesztési javaslatokat dolgozott ki a megnövekedett terhelés kezelésére. Rominger és Farkas [30] modellje figyelembe veszi az elektromos járművek számát, az utazási távolságokat, a töltési időtartamot, a meglévő töltőket, az átlagos utazási sebességet és az energiafogyasztást. Habár a modell megbízhatóságát javíthatja az új kritériumok bevezetése, de a megnövekedett

adatigény csökkentheti a módszer gyakorlati alkalmazhatóságát. Wang és Wang [31] hibrid modelljében a városi és az országos átjárható-sági igények integráltan kezelhetők.

Az irodalomkutatás alapján megállapítottuk, hogy a főutak mentén számos tényező befolyásolja a töltésigényt, amelyek közül a forgalom nagyság, a hatótávolság, és az elektromos járművek száma a legmeghatározóbb. Fontos megfelelő kiegészítő szolgáltatások biztosítása a töltőhelyszíneken. A töltőhelyszín kiválasztási folyamatának komplexitásán enyhíthet a szóba jöhető helyszínek körében végzett előszűrés. Összehasonlítva a töltőtelepítéssel kapcsolatos korábbi tanulmányokkal, a kidolgozott módszerünk innovatív, mivel a meglévő szolgáltatásokra fókuszál pontorientált megközelítésben, figyelembe véve a környezeti és forgalmi jellemzőket is.

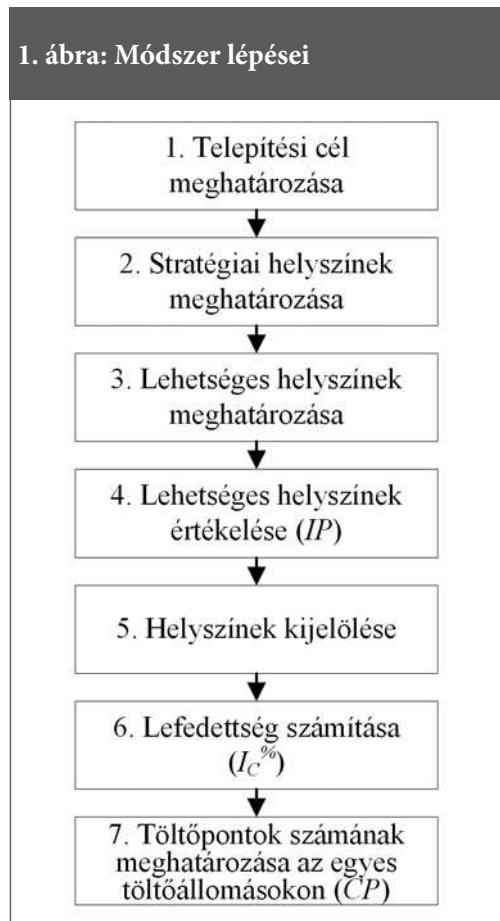
3. TÖLTŐÁLLOMÁS-HELYSZÍN KIJE-LŐLŐ MÓDSZER

Súlyozott multikritériumos módszert dolgoztunk ki töltőállomások helyszíneinek kijelölésére. Mivel célunk a távolsági utazások támogatása, az országos átjárhatóság biztosítása volt, így főútvonalakra (autópályák, autóutak, egy- és kétszámjegyű főutak) és környezetükre koncentráltunk, valamint a töltési időt minimalizáló villámtöltőkkel foglalkoztunk. Kiegészítő szolgáltatások megléte, valamint egyéb szempontok (pl.: villamos hálózat kiépítettsége) miatt a főutak menti meglévő pihenőhelyekre (benzinkutakra) fókuszáltunk, mint lehetséges elektromos töltőállomás-helyszínek.

Számos változó és paraméter figyelembevételére multikritériumos módszer alkalmazható. Ezzel a módszerrel a különféle hatásokat pontos értékekkel jellemezhetjük, és a nehezen vagy egyáltalán nem számszerűsíthető tényezőket is értékelhetjük. Emellett különböző mértékegységű változók összehasonlíthatók. A változók értékeit diszkrét értékű minősítő kategóriákba soroltuk. Ennek megfelelően a változók mértékegység nélküliek. A módszer eredménye egy olyan töltőhelyszín-eloszlás, ami adott területi lefedettség mellett maximalizálja a töltőállomások kihasználtságát. Az 1.

ábra az eljárás lépéseit mutatja be.

3.1. A telepítési cél meghatározása



Többféle telepítési cél fogalmazható meg. Például:

- telepíthető töltőállomások maximális száma, pl.: javaslat a legjobb tíz helyszínrre,
- megfelelő területi lefedettség biztosítása (számításának módját a 3.6-os fejezet tartalmazza).

3.2. Stratégiai helyszínek meghatározása

A stratégiai (fix) helyszínek kiválasztása előnyös – bár nem kötelező –, csökkentve egy-egy szimuláció számítási igényét. Ezek a helyszínek számos szempont alapján választhatók ki;

a legtöbb esetben a nagyváros közeli helyszínek, a turisztikai célpontok és a határállomások.

3.3. Lehetséges helyszínek meghatározása

Feltételeztük, hogy jelentősebb kitérőt a járművezetők nem tesznek a töltéshez. Ezért azon meglévő pihenőhelyek lehetnek potenciális elektromos töltőállomás-helyszínek, amelyek a főúttól maximum 250 méterre találhatóak. A lehetséges helyszíneket a 300 méteres környezetükben elérhető kiegészítő szolgáltatások alapján csoportosítottuk:

- alap pihenőhely: parkoló, WC,
- minimum pihenőhely: alap pihenőhely szolgáltatásai + kisbolt (pl.: benzinkút shop),
- médium pihenőhely: minimum pihenőhely szolgáltatásai + étkezési lehetőségek (pl. étterem, büfé) és további szolgáltatások (pl. gyógyszertár, szupermarket),
- superior (komplex) pihenőhely: médium pihenőhely szolgáltatásai + szállás (pl. hotel).

A szolgáltatások növelik a töltés alatt eltöltött idő hasznosságát, ezért csak a minimum pihenőhely szolgáltatásait vagy annál többet nyújtó helyszíneket vizsgáltuk. Mivel általánosságban a szomszédos minimum vagy magasabb szolgáltatási szintű helyszínek távolsága nem haladja meg egy átlagos elektromos személygépjármű hatótávolságát (autópályán 100 kilométer körül), csak különleges esetekben szükséges új infrastruktúra létesítése egy töltőhelyszín megvalósításához. Ennek megfelelően meglévő helyszíneket vizsgáltunk a jelenleg is elérhető szolgáltatásokkal, de a modell alkalmas további szempontokkal és lehetséges helyszínekkel való bővítésre.

3.4. Lehetséges helyszínek értékelése

A helyszínek az ún. telepítési potenciál (IP – Installation Potential) alapján értékelhetők (1). A potenciál értékét városi és távolsági igények egyaránt befolyásolják.

$$IP_j = a_1(x_{11,j} + x_{12,j}) + a_2 \cdot x_{2,j} + a_3 \cdot x_{3,j} - a_4 \cdot x_{4,j} \quad (1)$$

Ahol:

- j : helyszín azonosítója,
- IP_j : a j . helyszínre számított potenciál,
- $x_{11,j}$: forgalomnagyság kategória a j . helyszín közelében lévő főútvonalakon,
- $x_{12,j}$: legmagasabb útkategória kategóriák a j . helyszín közelében,
- $x_{2,j}$: lakosság szám kategória a j . helyszín közelében,
- $x_{3,j}$: szolgáltatások szintje (pihenőhely kategóriája),
- $x_{4,j}$: j . helyszín közelében lévő töltőállomások elvonzó, negatív hatása, kategorizálva,
- a_1, a_2, a_3, a_4 : változók súlyai.

A magasabb IP érték a töltőhelyszín várhatóan nagyobb kihasználtságát jelenti. A töltőtelepítés költségeit indirekt módon, a pihenőhelyen elérhető kiegészítő szolgáltatásokon keresztül vettük figyelembe. Az adott helyszín magasabb szolgáltatási szintje (magasabb pihenőhely kategória) több szolgáltatás jelentését feltételezi, amelyek működéséhez nagyobb kapacitású elektromos hálózat szükséges. A szabad energiakapacitás vagy az elektromos hálózathoz való hozzáférés csökkenti a telepítési költséget.

A változók kategorizálásakor a Magyarországra jellemző értékeket vettük figyelembe. Az x_4 változó biztosítja a töltőhelyszínek vonzáskör átfedésének minimalizálását. Progresszíven emelkedő értékeket rendeltünk hozzá az egyre közelebbi állomások esetén (értékkészlete 0-8); az 50 km-nél távolabbi állomások „semleges” hatását 0-val vettük figyelembe. A súlyok értékeinek meghatározásában jelentős szerepe van a tervezésnek, a beruházó igényeinek vagy a jövőbeli töltésigénynek. Iterációs lépésekkel vizsgáltuk a súlyok és intervallumhatárok változtatásának hatását; amellyel több telepítési szcenárió is készíthető.

A változók kategória intervallumhatárai és diszkrét értékei:

- x_{11} **forgalomnagyság**: az átlagos napi forgalomnagyság (ÁNF) összesített értéke a lehetséges helyszín 250 méteres körzeté-

ben lévő főútvonalakon [személygépjármű/nap]. Autópályák, autótutak esetében a forgalomnagyság értéket felezzük, mivel a két irány egymástól fizikailag el van választva; mind a két oldalra szükséges töltőállomás elhelyezése. A magyar viszonyok szerint – általában – az útpálya mindkét oldalán van pihenőhely. A forgalomnagyság-kategóriákat és diszkrét értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Forgalomnagyság-kategóriák

Forgalomnagyság [személygépjármű/nap]	x_{11}
< 5000	1
5001 - 10000	2
10001 - 15000	3
15001 - 25000	4
> 25000	5

- x_{12} **útkategória**: a legmagasabb útkategória a lehetséges helyszín 250 méteres körzetében. Az útkategóriákat és diszkrét értékeit a 2. táblázat tartalmazza. A módszer során az autópálya menti pihenőket részesítjük előnyben, így a távolsági forgalom nagyobb eséllyel vezethető gyorsforgalmi úthálózaton.

2. táblázat: Útkategóriák

Legmagasabb útkategória	x_{12}
autópálya	2
autótút	1
egy és kétszámjegyű főút	0,5
egyéb út	0

- x_2 **lakosság szám**: az összlakosság szám a lehetséges helyszín 10 kilométeres körzetében [fő]. Feltételezzük, hogy nagy népességű város közelében elhelyezett villám-töltők a távolsági utazási igények mellett városi igényeket is kielégítenek. A városi igényeknek megfelelően a nagyobb lakosság számmal rendelkező helyszíneket részesítettük előnyben. A lakosság szám-kategóriákat és diszkrét értékeit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Lakosság szám-kategóriák

Lakosság szám [fő]	x_2
< 10000	1
10000 - 20000	2
20001 - 30000	3
30001 - 75000	4
> 75000	5

- x_3 **szolgáltatási szint**: az elérhető kiegészítő szolgáltatásokat a pihenőhely kategóriák alapján vesszük figyelembe. A pihenőhely-kategóriákhoz meghatározott diszkrét értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Szolgáltatási szint kategóriák

Szolgáltatási szintek	x_3
alap pihenőhely	0
minimum pihenőhely	1
médium pihenőhely	3
superior pihenőhely	5

- x_4 **közeli töltőállomások elvonzó, negatív hatása**: az 50 kilométeren belül található töltőállomások már hatással lehetnek a vizsgált töltőhelyszín kihasználtságára. Az 50 kilométer körüli távolságban elhelyezett töltőállomás-sűrűség megbízható hálózatszintű lefedettséget és tervezhetőséget biztosít minden forgalmi és időjárási körülmény mellett. A légvonalbeli távolság csökkenti a modell jóságát, de jelentősen egyszerűsíti a számításokat. A közeli töltőállomás távolság kategóriáit és elvonzó hatását kifejező diszkrét értékeit az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Közeli töltőállomások távolság kategóriái

Töltőállomás távolsága [km]	x_4
> 50,1	0
45,1 - 50	1
40,1 - 45	1,5
35,1 - 40	2
30,1 - 35	2,5
20,1 - 30	3
10,1 - 20	6
< 10,1	8

3.5. Helyszínek kijelölése

A helyszínek szekvenciális kijelölésének lépései:

- lehetséges helyszínek rangsorolása IP érték alapján,
- legmagasabb IP értékű helyszín kiválasztása és hozzáadása a telepítendő helyszínek közé,
- telepítési cél ellenőrzése. Amennyiben a kitűzött célt elértük, a folyamat véget ér. Ellenkező esetben a még lehetséges helyszíneket újraértékeljük (IP számítása) figyelembe véve, hogy a legutóbb kijelölt helyszín az újabb értékelésnél már elvonzó hatást generál.

3.6. Lefedettségi számítása

A töltőtelepítés által biztosított térbeli lefedettség vizsgálatához bevezetjük a lefedettség mutatót (IC - Index of Coverage) (2).

$$IC_k = \frac{C_k}{T_k} \quad (2)$$

Ahol:

- k : a régió azonosítója, amely lefedettség mutatóját számítjuk,
- C_k : töltővel lefedett terület nagysága a k . régióban [km²]. A régióban lévő töltőpontok 25 km-es körzetét tekintjük töltőponttal lefedett területnek. Ezen területek átfedésmentes összege a C_k értéke,
- T_k : k . régió összterülete [km²],

A töltőállomás-helyszínek száma a szükséges lefedettség érték függvénye, amennyiben a felhasználó telepítési célnak ezt határozta meg. A kívánt mutató eléréséig új helyszíneket határozunk meg.

3.7. Töltőpontok számának meghatározása az egyes töltőállomásokon

A szükséges töltőpontok számának meghatározásához becsüljük a j . töltőállomáson a mértakadó órában megforduló tisztán elektromos személygépjárművek számát a z . évben (BEV_z^j) a (3)-as egyenlet alapján.

$$BEV_j^z = T_{sh,j}^z \cdot r_{ld,j}^z \cdot r_{BEV}^z \cdot \frac{\bar{d}}{R_{BEV}^z} \quad (3)$$

Ahol:

- $T_{sh,j}^z$: mértékadó órai forgalom (MOF) a z . évben a j . töltőállomás-helyszín 250 méteres körzetében lévő főúthálózaton [személygépjármű/óra],
- $r_{ld,j}^z$: hosszú távú (távolsági) utazások aránya a z . évben a j . töltőállomás-helyszín 250 méteres körzetében lévő főúthálózaton,
- r_{BEV}^z : tisztán elektromos járművek aránya a z . évben,
- \bar{d} : szomszédos töltőállomások közti átlagos távolság [km],
- R_{BEV}^z : tisztán elektromos járművek átlagos hatótávja a z . évben [km].

A szükséges adatok számos esetben nem álltak rendelkezésre, így azokat becsültük (pl.: hosszú távú utazások arányának becslése a környező települések lakosságszáma alapján).

A j . töltőállomás-helyszínen szükséges töltőpontok száma a z . évben (CP - Charging Points) a (4)-es egyenlet alapján számítható.

$$CP_j^z = \left\lceil \frac{BEV_j^z}{2} \right\rceil + 1 \quad (4)$$

Feltételezzük, hogy egy villámtöltő két járművet képes óránként feltölteni. A különféle csatlakozótípusokkal (pl.: CHAdeMO, CCS) a kutatás jelen fázisában nem foglalkoztunk.

4. A MÓDSZER ALKALMAZÁSA

Jelenleg Magyarországon csak néhány elektromos töltőpont található a főutak mentén, a villámtöltők többségében városközpontokban vagy nem a főutak közvetlen közelében található. Az eddig telepített elektromos töltőket egymástól függetlenül helyezték el, azonban van kormányzati törekvés a telepítések központi koordinálására, villámtöltők telepítésével a hosszú távú utazások támogatására. A módszer alkalmazásánál célunk,

hogy a legkevesebb töltővel a legnagyobb területet fedjük le, előtérbe helyezve a magasabb rendű utakat és a nagyobb forgalom-nagyságot.

A módszert térinformatikai szabadszoftver (QGIS) környezetben dolgoztuk ki. A térinformatikai szoftverek révén lehetőségünk nyílt teradatok betöltésére, megjelenítésére, a módszer lefuttatására, valamint webes publikálására. A projekt módszertanában a térinformatika projekttervezést Roger Tomlinson módszertana [32] alapján végeztük. A szükséges bemeneti adatokat teradat-szolgáltatók és geoportálok OpenStreetMap nevű térképi adatbázisaiból nyertük. Az adatok térinformatikai implementációjával különböző információs térképeket készítettünk (pl. lefedettségterkép, töltőállomás-helyszínek térképe).

4.1. Telepítési cél és a stratégiai helyszínek meghatározása (1. és 2. lépés)

Telepítési célnak a 85%-os vagy annál nagyobb térbeli lefedettség ($IC_k \geq 85\%$) elérését definiáltuk. Stratégiai helyszíneket főként az országhatár mentén, illetve Budapest környékén határoztunk meg. Olyan határátkelőhelyeket jelöltünk ki, ahol az áthaladó forgalom meghaladja a napi átlagos 5000 egységjárművet. Mivel Budapest forgalma és gazdasági teljesítménye is kiemelkedő (az országos GDP 47%-a), az M0-ás körgyűrűn és a sugárirányú autópályák Budapesthez legközelebbi benzinkúttal rendelkező pihenőhelyén jelöltünk ki stratégiai helyszíneket. Összesen kilenc határátkelőhelyi és hét Budapest környéki stratégiai helyszínt határoztunk meg (4. ábrán négyzettel jelölt helyszínek).

4.2. Lehetséges helyszínek meghatározása és értékelése (3. és 4. lépés)

A minimum, médium és superior pihenőhelyek magyarországi elhelyezése sűrűnek tekinthető; az alappihenőhelyek vizsgálatától eltekintettünk (a nyújtott szolgáltatások száma csekély). Ezzel a szűkítéssel kiindulásként összesen 650 db lehetséges helyszín maradt. A változók súlyait a 6. táblázatban foglaltuk össze.

6. táblázat: Változók súlyai

Súlyok	Értékek
a_1	0,7
a_2	0,2
a_3	0,1
a_4	1,6

A legnagyobb súlyokat a forgalom nagyság, illetve a közeli töltőállomások elvonzó változóira állítottuk be. Az értékelési módszert (IP számítás) egy Győr közeli helyszínen (M1-es autópálya Arrabona pihenőhely; 4. ábrán nyíllal jelölve) szemléltetjük. A változók konkrét és minősítő értékét a 7. táblázat tartalmazza. A számítást az (1)-es egyenlet alapján a (7)-es egyenlet írja le. x_4 változó értéke 24 km, mivel egy korábbi iterációs lépésben a módszer alapján Ácson egy töltőhelyszínt jelöltünk ki.

7. táblázat: Változók értékei - példa: Arrabona pihenőhely

Változó	Jellemző	Minősítő értékek
x_{11}	19900 személygépjármű	4
x_{12}	autópálya	2
x_2	129372 lakos	5
x_3	minimum pihenőhely	1
x_4	24 km	3

$$IP_{Győr} = 0,7(4 + 2) + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 1 - 1,6 \cdot 3 = 0,5 \quad (7)$$

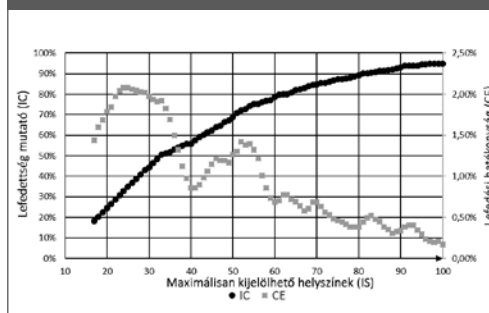
4.3. Helyszínek kijelölése és lefedettség számítása (5. és 6. lépés)

A módszer szimulációja során minden egyes iterációs lépésben kiszámítottuk a lehetséges helyszínekhez tartozó lefedettség mutatót (IC) a maximálisan kijelölhető helyszínek számának (IS - Installation Sites) függvényében. A megelőző öt töltőállomás-helyszín lefedettsége közti különbségből mozgó átlaggal (öt egységnyi ablakkal) kiszámítottuk a lefedési hatékonyságot CE (Coverage Efficiency) (8).

$$CE_{IS=k} = \frac{IC_{IS=k} - IC_{IS=k-5}}{5} \quad (8)$$

A 2. ábra az IC(IS) és CE(IS) diagramot mutatja. A 16 stratégiai helyszín IC és CE értékeit külön nem számoltuk, de a további helyszínekre vonatkozó számításoknál figyelembe vettük. A 3. ábra a lefedettség alakulását mutatja négy különböző IS függvényében.

2. ábra: Lefedettség mértéke és lefedési hatékonyság a töltőállomás-helyszínek számának függvényében



A Magyarország lefedéséhez szükséges töltőállomás-helyszíneket a lefedettség függvény alapján határoztuk meg. 70 db töltőállomással elérhető a 85%-os lefedettség (IC(70)=85%). A változók diszkrét intervallumhatárainak ingadozása változtatja a lefedési hatékonyságot (CE). A lefedési hatékonyság a töltőállomás-helyszínek számának növekedésével egyértelműen csökken. Esetünkben a CE ingadozása egyrészt a forgalom nagyság változó, másrészt az útkategória változó esetében az autópályák és autóutak nagy súlyára vezethető vissza. A hatékonyság addig csökken, amíg a forgalom és az útkategória változók ellensúlyozni tudják a közeli töltőállomások elvonzó, negatív hatását. Amennyiben erre a változók nem képesek, a módszer a közeli töltőállomás vonzáskörzeten kívül új helyszínt javasol. IS=54 db töltőállomás-helyszín lokális maximum után a lefedési hatékonyság jelentősen csökken. Kijelenthető, hogy 54 db töltőállomás-helyszínnel elégségesen támogathatók az elektromos személygépjárművel végrehajtott hosszú távú, távolsági utazások. A 4. ábra egyszerre mutat be két scenáriót: IS=54 helyszín (a lefedési hatékonyság nagymértékű csökkenésének kezdete), valamint IS=70 db helyszín (a 85%-os telepítési célnak

megfelelő lefedettség). Autópályák és autópályák, illetve egyes főutak esetén helyszínenként és irányonként, ahol az átjárás az irányok között nem lehetséges, 1-1 töltőállomás elhelyezése ajánlott.

4.4. A töltőpontok számának meghatározása az egyes töltőállomásokon (7. lépés)

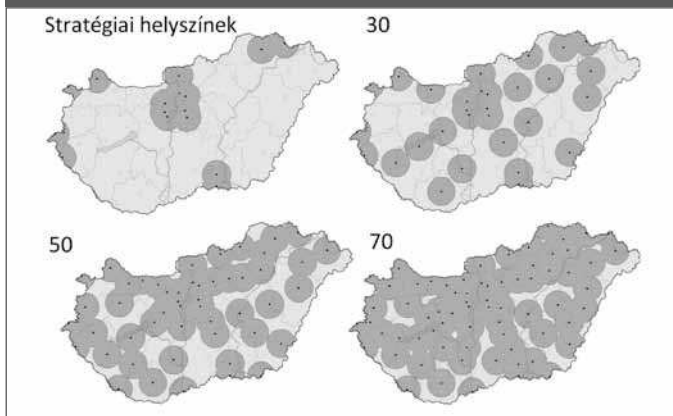
A szükséges töltőpontok számát a (3)-as és (4)-es egyenlet alapján 2020-ra a meghatározott 70 db töltőállomás-helyszínre számítottuk ki. Feltételeztük, hogy a hosszú távú utazások arányára (r_{ld}) a közeli települések népessége is hatással lesz. Lakosságszám-csoportokat képeztünk, és a helyi sajátosságokat figyelembe véve becsültük az r_{ld} értékeket (8. táblázat). A MOF (mértékadó órai forgalom) nagyságának megadására a Magyar Közút Zrt. 2017-es adatait használtuk, a \bar{d} értéket 50 km-ben határoztuk meg. Továbbá a következő feltételezésekkel is éltünk:

- $r_{BEV}^{2020} = 0,24\%$, a tisztán elektromos személygépjárművek aránya 0,24%
- $R_{BEV}^{2020} = 200$ km, a tisztán elektromos személygépjárművek hatótávja 200 km

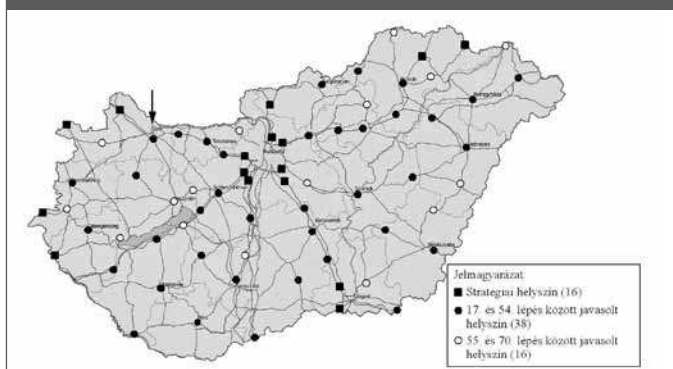
8. táblázat: r_{ld} kategóriák

A közeli települések össznépessége [fő]	r_{ld}
> 250000	0,6
100001 - 250000	0,7
50001 - 100000	0,8
15001 - 50000	0,9
≤ 15000	0,95

3. ábra: Lefedettség alakulása stratégiai pontok, 30, 50 és 70 töltőállomás-helyszín esetében



4. ábra: Javasolt töltőállomás-helyszínek (stratégiai helyszínek, 54 és 70 helyszín esetén)



Példaként a szükséges töltőpontok számolásának módját (CP) az Arrabona pihenőhelyre a (9)-es egyenlet újra le. MOF nagysága $T_{sh,Győr}^{2020} = 4905 \text{ Ejm/h}$, a hosszú távú utazások aránya $r_{ld} = 0,7$.

$$CP_{Győr}^{2017} = \left\lceil \frac{4905 \cdot 0,7 \cdot 0,0024 \cdot \frac{50}{200}}{2} \right\rceil + 1 = [1,03] + 1 = 2 \quad (9)$$

2020-ra az Arrabona pihenőhelyen elegendő két töltőpont, ami irányonként 1-1 töltőállomást jelent.

Az elektromos járművek gyors terjedése az elektromos hálózat bővítését is igényli. Ha a szükséges töltőpontok száma a jövőben elér egy határt, akkor a töltőállomás hálózat további sűrítésére lesz szükség. Az 5. ábra az

Gépjármű-közlekedés

igények növekedése és számos esetben az autópályáknál és autótutaknál az irányonkénti töltőállomás szükségessége függvényében mutatja a szükséges töltőpontok számát. Az M7-es autópálya lepsényi pihenőhelyén szükséges egyedül az igények miatt összesen négy töltőpont (irányonként 2-2 töltőpont). 2020-ra 70 db helyszínen összesen 100 db töltőállomáson 102 db töltőpont elhelyezése szükséges.

5. KONKLÚZIÓ

Az elektromos járművek töltésének sajátosságai újszerű töltőtelepítési stratégia kidolgozását igénylik. A kutatás fő eredményeként kidolgoztunk egy térinformatika alapú pontorientált multikritériumos módszert az elektromos járművel végrehajtott távolsági (országos átjárhatóságot biztosító) utazásokhoz szükséges töltőállomások telepítési helyszíneinek és a töltőpontok számának meghatározásához. A módszer meglévő pihenőhelyeket (benzinkutakat), mint lehetséges helyszíneket értékel.

A kidolgozott módszer jelentősége, hogy valós téradatokkal működik, térinformatikai környezetben implementált, széleskörűen figyelembe veszi a töltésigényeket és a meglévő infrastruk-

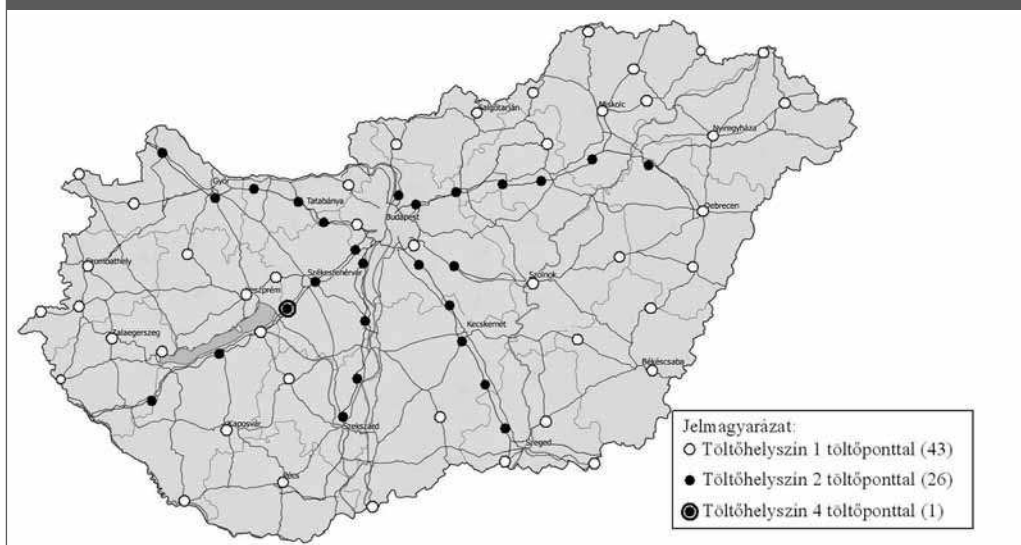
túrára fókuszál. További előny, hogy az előre jelzett, becsült állapotokat is képes kezelni. A módszer rugalmas, a változók és súlyaik a felmerülő igények függvényében módosíthatók. A módosítható változók szimulációjával a módszer számos töltőhálózat szcenárió összehasonlítására alkalmas.

A módszer használatával képzett eredmények alátámasztják, hogy a telepítendő töltőállomás-helyszínek valóban a jelentősebb forgalmú utak mellé, a szolgáltatással rendelkező pihenőhelyekre (benzinkutakra), megfelelő eloszlásban kerültek. A vizsgálat igazolta, hogy a meglévő kúthálózat sűrűsége megfelelő elektromos töltőállomások telepítéséhez, bár a szolgáltatási szintekben nagy különbségek tapasztalhatók.

A tématerületben rejlő kutatási potenciál jelentős, ezért a kutatást több irányban is folytatjuk:

- töltőtelepítő módszert dolgozunk ki városi környezetre, ahol figyelembe vesszük a parkolással kapcsolatos szokásokat, demográfiai tényezőket, települési és gazdasági adatokat;
- információs szolgáltatásokat fejlesztünk az elektromos járműveket használók részére.

5. ábra: A 2020-ra szervezett töltőpontok száma 70 helyszín esetében



A cikkben ismertetett módszer alapjait az e-Mobi Nonprofit Kft. megbízásából az „Országos szintű adatbázist és az egységes digitális térképet magába foglaló töltőinfrastruktúra telepítési koncepció” c. projekt keretében fejlesztettük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Péter, T., Lakatos, I., Szauter, F., Pup, D. 2016. Complex analysis of vehicle and environment dynamics. 2016 ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA) Auckland, New Zealand, August 29-31, 2016. <http://doi.org/ch7h>
- [2] Nansai, K., Tohno, S., Kono, M., Kasahara, M., Moriguchi, Y. 2001. Life-cycle analysis of charging infrastructure for electric vehicles. Applied Energy, 70(3):251-265. <http://doi.org/d6c5k4>
- [3] Fox, G. H. 2013. Electric vehicle charging stations: Are we prepared? IEEE Industry Applications Magazine, 19(4):3238 <http://doi.org/ch7p>
- [4] Melania, M. W. 2003. Initiating hydrogen infrastructure: preliminary analysis of a sufficient number of initial hydrogen stations in the US. International Journal of Hydrogen Energy, 28(7):743-755. <http://doi.org/dg66j9>
- [5] Nie, Y., Ghamami, M. 2013. A corridor-centric approach to planning electric vehicle charging infrastructure. Transportation Research Part B, 57:172-190. <http://doi.org/f5khdr>
- [6] Halbey, J., Kowalewski, S., Ziefle, M. 2015. Going on a Road-Trip with My Electric Car: Acceptance Criteria for Long-Distance-Use of Electric Vehicles. Design, User Experience, and Usability: Interactive Experience Design. Lecture Notes in Computer Science, 9188: 473-484. <http://doi.org/ch7q>
- [7] Philipsen, R., Schmidt, T., Ziefle, M. 2015. A Charging Place to Be - Users' Evaluation Criteria for the Positioning of Fast-charging Infrastructure for Electro Mobility. Procedia Manufacturing, 3:2792-2799. <http://doi.org/ch7r>
- [8] Gong, L., Fu, Y., Li, Z. 2016. Integrated planning of BEV public fast-charging stations. The Electricity Journal, 29(10):62-77. <http://doi.org/ch7s>
- [9] Hakimi, S. L. 1964. Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. Operations Research, 12(3):450-459. <http://doi.org/bmkmx7>
- [10] Hodgson, M. J. 1990. A flow-capturing location-allocation model. Geographical Analysis, 22(3):270-279. <http://doi.org/bqrbbd>
- [11] Upchurch, C., Kuby, M. 2010. Comparing the p-median and flow-refueling models for locating alternative-fuel stations. Journal of Transport Geography, 18:750-758. <http://doi.org/d9pk5x>
- [12] Lin, W., Hua, G. The flow capturing location model and algorithm of electric vehicle charging stations. 2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS) 27-29 July 2015. <http://doi.org/ch7t>
- [13] Tan, J., Lin, W-H. A Stochastic Flow Capturing Location and Allocation Model for Siting Electric Vehicle Charging Stations. 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) 8-11 October 2014. <http://doi.org/ch7v>
- [14] Kuby, M., Lim, S. 2005. The flow-refueling location problem for alternative-fuel vehicles. Socio-Economic Planning Sciences, 39:125-145. <http://doi.org/fr3wmt>
- [15] Kuby, M., Lim, S. 2007. Location of alternative-fuel stations using the flow-refueling location model and dispersion of candidate sites on arcs. Networks and Spatial Economics, 7(2):129-152. <http://doi.org/b699sr>
- [16] Lim, S., Kuby, M. 2010. Heuristic algorithms for siting alternative-fuel stations using the flow refueling location model. European Journal of Operational Research, 204(1):51-61. <http://doi.org/bcb7gd>
- [17] Davidov, S., Pantoš, M. 2017. Planning of electric vehicle infrastructure based on charging reliability and quality of service. Energy, 118:1156-1167. <http://doi.org/f9wxrz>
- [18] Yin, X., Zhao, X. Planning of electric vehicle charging station based on real time traffic flow. 2016 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC) 17-20 October 2016. 4p. <http://doi.org/ch7w>
- [19] Andrenacci, N., Ragona, R., Valenti, G. 2016. A demand-side approach to the optimal deployment of electric vehicle charging

- stations in metropolitan areas, *Applied Energy*, 182:39-46. <http://doi.org/f9b8qq>
- [20] Cai, H., Jia, X., Chiu, A.S.F., Hu, X., Xu, M. 2014. Siting public electric vehicle charging stations in Beijing using big-data informed travel patterns of the taxi fleet, *Transportation Research Part D*, 33:39-46. <http://doi.org/f6sb89>
- [21] Shahraki, N., Cai, H., Turkey, M., Xu, M. 2015. Optimal locations of electric public charging stations using real world vehicle travel patterns, *Transportation Research Part D*, 41:165-176. <http://doi.org/f74mdm>
- [22] Guo, S., Zhao, H. 2015. Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, 158:390-402. <http://doi.org/f7z8q3>
- [23] Liu, Z., Wen, F., Ledwich, G. 2013. Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(1):102-110. <http://doi.org/f4jwv>
- [24] Xi, X., Sioshansi, R., Marano, V. 2013. Simulation-optimization model for location of a public electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part D*, 22:60-69. <http://doi.org/f43bvg>
- [25] Shathaye, N., Kelley, S. 2013. An approach for the optimal planning of electric vehicle infrastructure for highway corridors. *Transportation Research Part E*, 59:15-33. <http://doi.org/f5h5b5>
- [26] Shirmohammadli, A., Vallée, D. Developing a Location Model for Fast Charging Infrastructure on Major Highways. *International Conference on Traffic and Transportation Engineering*, Belgrade, Serbia, November 24-25, 2016. pp. 905-912.
- [27] Guo, Z., Deride, J., Fan, Y. 2016. Infrastructure planning for fast charging stations in a competitive market. *Transportation Research Part C*, 68: 215-227. <http://doi.org/f8t27s>
- [28] Yi, Z. – Bauer, P.H. 2016. Optimization models for placement of an energy-aware electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part E*, 91:227-244. <http://doi.org/f8sm3b>
- [29] Liu, J. 2012. Electric vehicle charging infrastructure assignment and power grid impacts assessment in Beijing. *Energy Policy*, 51:544-557. <http://doi.org/f4pgcw>
- [30] Rominger, J., Farkas, Cs. 2017. Public charging infrastructure in Japan – A stochastic modelling analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 90:134-146. <http://doi.org/cjcm>
- [31] Wang, Y-W., Wang, C-R, 2010. Locating passenger vehicle refueling stations. *Transportation Research Part E*, 46:791-801. <http://doi.org/bnkb3r>
- [32] Tomlinson, R.F. *Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers*. ESRI, Inc., 2007 – p. 238.



The Method of Selecting the Location of Fast Charging Stations for Electrical Vehicles Ensuring National Interoperability

The disadvantage of electric vehicles is their limited range, which is an obstacle especially to long distance journeys. This problem can be handled by creating an extensive charging network. The multicriterial, point-oriented EV charging station building method uses a number of variables to rank the potential locations. Using a simulation software and applying the method for Hungary, it designates the locations for electric vehicle fast charging stations in order to ensure the interoperability of the whole country.



Das Verfahren zum Auswählen des Standorts von Schnellladestationen für E-Fahrzeuge zur Sicherstellung der nationalen Interoperabilität

Der Nachteil von Elektrofahrzeugen ist ihre begrenzte Reichweite, die insbesondere bei Langstreckenfahrten ein Hindernis darstellt. Dieses Problem kann durch die Errichtung eines umfangreichen Lade-Netzwerkes behandelt werden. Die multikriterielle, punktorientierte Errichtungsmethode für Ladestationen verwendet eine Anzahl von Variablen, um die potentiellen Standorte zu bewerten. Mit der Entwicklung einer Simulationssoftware und der Anwendung der Methode für Ungarn es werden die Standorte der Schnellladestationen für E-Fahrzeuge vorgegeben, die die Interoperabilität des gesamten Landes sicherstellen.